

# Research on Prevention Measures of 380 V Load Branch Over-Level Trip in Substation

Huanqing Zhang<sup>1</sup>, Yuan Jiang<sup>1</sup>, Chaojin Sima<sup>1</sup>, Cong Yu<sup>1</sup>, Du Liu<sup>1</sup>, Zhiyuan Ma<sup>2</sup>, Hui Hou<sup>2</sup>, Xixiu Wu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Grid Hubei Electric Power Company Maintenance Company, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei

Email: houhui@whut.edu.cn

Received: May 26<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 13<sup>th</sup>, 2019; published: Jun. 20<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Over-level tripping often occurs in some substations of electric distribution grid, which may cause and expand power outages and seriously threaten the reliability of power supply. This paper analyzes the causes of the relay protection tripping, including improper setting of branch protection; unreasonable protection coordination between upper and lower levels; failure of components such as circuit breakers etc. Then, a novel relay protection scheme combining zero-sequence current protection and trip unit is designed to improve the setting arrangement and inter-stage cooperation of the relay protection. Field test results show that the scheme proposed by this paper can effectively solve the problem of over-level tripping, and avoid the expansion of power outage and the heavy maintenance tasks brought by it. It can effectively improve the reliability of power supply.

## Keywords

Substation Transformer, Over-Level Trip, Zero Sequence Protection, Trip Unit, Current Quick-Break Protection

---

# 变电站用380 V负荷支路故障越级跳闸防治措施研究

张焕清<sup>1</sup>, 江 渊<sup>1</sup>, 司马朝进<sup>1</sup>, 于 聪<sup>1</sup>, 刘 杜<sup>1</sup>, 马志远<sup>2</sup>, 侯 慧<sup>2</sup>, 吴细秀<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网湖北省电力公司检修公司, 湖北 武汉

<sup>2</sup>武汉理工大学自动化学院, 湖北 武汉

Email: houhui@whut.edu.cn

收稿日期: 2019年5月26日; 录用日期: 2019年6月13日; 发布日期: 2019年6月20日

文章引用: 张焕清, 江渊, 司马朝进, 于聪, 刘杜, 马志远, 侯慧, 吴细秀. 变电站用 380 V 负荷支路故障越级跳闸防治措施研究[J]. 输配电工程与技术, 2019, 8(2): 53-61. DOI: 10.12677/tdet.2019.82006

## 摘要

部分站用变配电线路中常出现越级跳闸的问题,造成停电范围扩大,严重威胁供电可靠性,本文首先分析了造成继电保护越级跳闸原因,包括支路保护整定设置不当、上下级保护配合不合理、断路器等元器件故障等,进而对继电保护整定原则和级间配合进行了改进分析,并设计了零序电流保护与脱扣器结合的继电保护方案,现场实验结果表明,该方案可有效解决越级跳闸问题,避免了停电范围扩大及其带来的繁重检修任务,提高供电可靠性。

## 关键词

站用变,越级跳闸,零序保护,脱扣器,电流速断保护

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

继电保护装置是集控制与保护于一体的重要装置,无论是输电网中还是配电网中对供电的安全性和可靠性都起着至关重要的作用[1]。在配电网中,越级跳闸事故时有发生,尤其是在变电站站用变配电线路中,由于线路设计不合理[2]、整定保护定值整定不当等原因,造成越级跳闸事故,导致停电范围的扩大,影响着供电的安全可靠[3]。如2013年6月国内某发电站电动机发生接地故障,引起越级跳闸导致低压厂用配电盘全盘失电;2016年西安南郊变事故。国网公司明确表示要防范站用交流系统全停事故的发生,对站用380V系统加强监控和保护[4]。

为解决这一问题,已有部分学者做了一些研究。文献[5]针对核电站厂用变越级跳闸事故,对变压器的零序保护进行了分析和改进,采用“定时限+反时限”两段式零序保护改进方案[6][7],解决越级跳闸问题。文献[8][9][10][11]提出光纤纵差保护方法解决某些供电网络的越级跳闸问题,即将输电线路两端电流的幅值及相位信息通过光纤网络传送到光纤纵差保护器进行比较,判断线路两端电流的向量和为零,判断区域内有无故障,从而决定是否动作切除本线路[12],但是这种保护常用在高压输电线路中,应用在低压线路中需要对设备进行改装升级并加装光线通信设备通信,改装成本高。在文献[13][14][15][16]通过使用数字化变电站技术,以变电站一、二次设备为数字化对象,以高速光纤网络通信平台为基础,通过对数字化信息进行标准化,实现信息共享和互操作,并以网络数据为基础,实现数据测量监视,控制保护,信息管理等自动化功能的变电站,是目前变电站自动化的新技术[17]。由于该方法改造设备多,而且比较复杂,该方法适用于新站设计和建设,不适合对已建成变电站的改造。

为改善以上方法的局限性,本文提出一种基于零序保护与脱扣器结合的继电保护方案,具有改造简单、可靠性高、易操作等特点。此方案是将电流速断保护与零序电流保护相结合,发挥电流速断保护简单可靠的优势,兼有零序保护的灵敏性和速动性的特点,此装置用于低压配电网、变电站用电保护,能够提高正确及时切除故障区域的能力,避免越级跳闸事故的发生,且适用性较强,改进相对容易实现。

## 2. 越级跳闸案例与原因分析

继电保护装置的基本任务,就是进行“区分和甄别”,这就要对电气量进行测量,比较“差异”来

判断是否故障和动作。越级跳闸的发生可以是继电保护任一环节出现差错的结果。下面以湖北省某变电站站用变越级跳闸案例为例[18],对站用变越级跳闸的原因进行分析,变电站站用电保护配置图如图1所示。

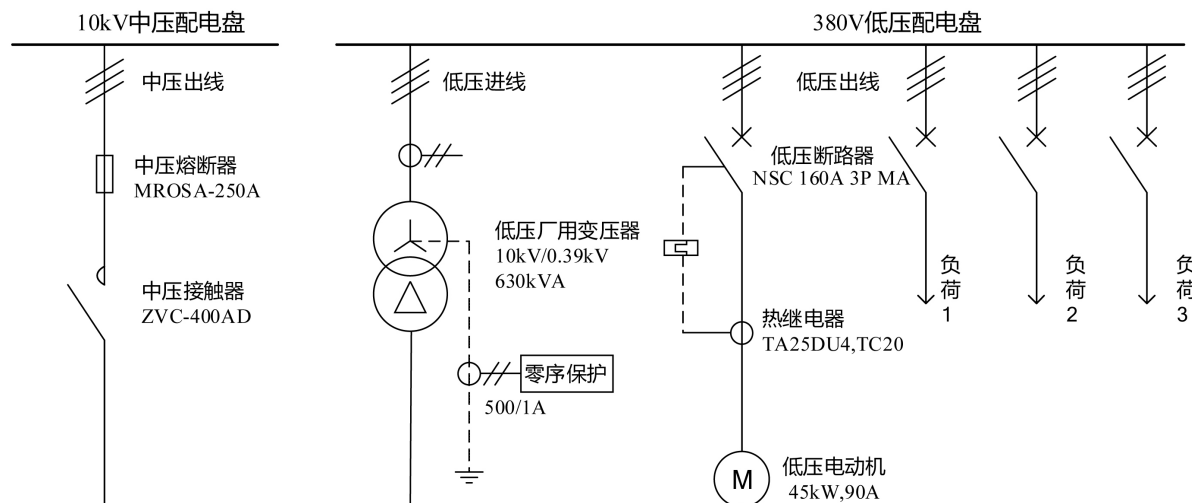


Figure 1. Configuration diagram of relay protection for a substation in Hubei Province  
图1. 湖北省某变电站站用电保护配置图

对于该变电站的越级跳闸现象表现为:当380V负荷支路故障时,相应支路的保护没有动作,而变压器的零序保护动作,切除整个交流系统,导致越级跳闸事故的发生。发生越级跳闸事故后,会引起停电范围的扩大,供电可靠性降低。而且检修范围会扩大,特别是变压器的检修,浪费大量的检修时间和人力物力,解决这一问题很有必要。

在综合分析了越级跳闸事故后,得出引起越级跳闸的主要原因是上下级保护配合不合理,具体分析如下:

在案例中,低压站用变接地故障保护的设置中可以利用断路器开断故障电流,也可以利用上一级变压器低压侧中性点设置的零序保护实现。断路器的动作曲线具有反时限特性,在短路电流的计算时,通常认为是金属性接地来计算,而在实际中大多不是单纯的金属性接地[19],经过渡电阻接地的情况也很多,对于断路器动作时间就会有较大的偏差;零序保护动作设定是定时限保护。上下级动作的曲线配合如图2所示,站用变零序保护设置整定值为440A,动作延时设置为1s。当故障电流大于1.1kA时,低压断路器动作,切断故障支路,零序保护未动作,但是当故障电流小于1.1kA时,零序保护动作先于断路器动作,切断了变压器,导致低压配电母线失电,导致越级跳闸事故的发生。

针对引起越级跳闸的原因,需对站用变的级间配合进行改进,本文设计了基于零序保护与脱扣器结合的解决方案,下面详细介绍该方案的内容。

### 3. 零序保护方案设计

#### 3.1. 改进依据和方案

目前站用变保护设置了变压器中性点定时限零序保护,该保护主要有两方面的作用。一是作为低压站用变和配电母线发生接地故障的主保护,二是作为低压负荷支路接地故障的后备保护。

对于低压侧中性点直接接地的变压器,低压侧接地短路故障的保护应在低压侧中性点设置零序过电流保护。为了与负荷支路保护相配合,可以在断路器旁加装前一级零序保护,与中性点直接接地的零序

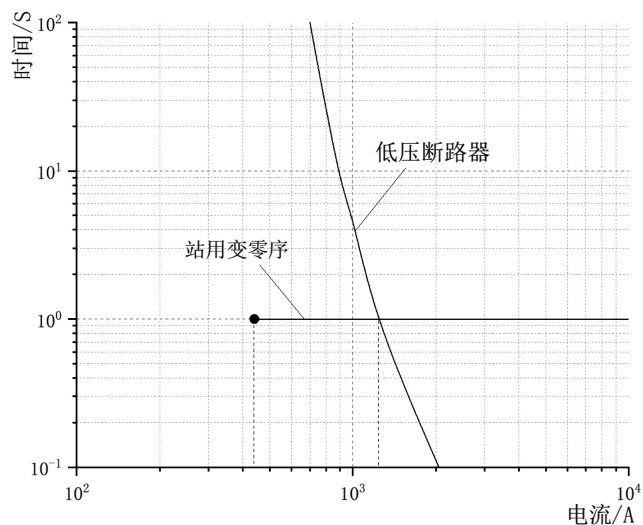


Figure 2. Zero sequence protection and low voltage circuit breaker action match curve

图 2. 零序保护和得低压断路器动作配合曲线

保护形成保护与后备保护的两级保护方案。当发生接地故障时，故障电流较大时，断路器先于零序保护动作切除故障；当故障电流较小时，断路器旁设的零序保护先于断路器动作，切除支路故障，而中性点的后备零序保护不需动作，从而避免了越级跳闸事故的发生。下面详细介绍断路器旁设的零序保护中零序电流的获取方法和整定方法。

### 3.2. 零序保护设计

在电流速断保护中，利用正常运行与短路状态下在相电流幅值方面的差异。正常运行的电力系统是三相对称的，其零序、负序电压电流理论上为零[20]；多数的短路故障是三相不对称的，其零序、负序电流和电压会很大；利用故障的不对称性也可以找到正常与故障间的差别，并且这种差别是零与很大值的比较，差异更为明显。当中性点直接接地系统(又称大接地电流系统)中发生接地短路时，将出现很大的零序电压和电流，利用零序电压、电流来构成接地短路的保护，具有灵敏性和速动性的显著优点。

零序电流保护首先是要获取零序电流可以采用零序电流互感器或零序电流过滤器，零序电流过滤器是三相电流互感器采用三相星形接线方式，如图 3(a)所示。

$$I_r = I_A + I_B + I_C = 3I_0 \tag{1}$$

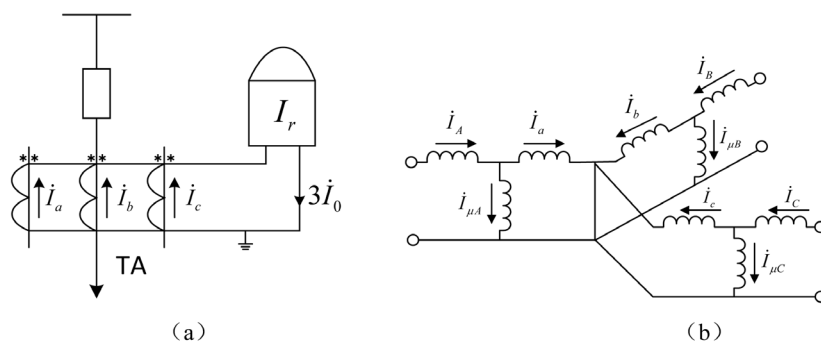


Figure 3. Zero sequence current filter. (a) Principle wiring; (b) Equivalent circuit

图 3. 零序电流过滤器。(a) 原理接线图；(b) 等效电路

在中性线上所流过的电流就是 $3\dot{I}_0$ ，零序电流过滤器也产生不平衡电流[21]。如图 3(b)中所示的电流互感器等效电路，此时流入继电器的电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_r &= \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \frac{1}{n_{TA}} \left[ (\dot{I}_A - \dot{I}_{\mu A}) + (\dot{I}_B - \dot{I}_{\mu B}) + (\dot{I}_C - \dot{I}_{\mu C}) \right] \\ &= \frac{1}{n_{TA}} \left[ (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) - (\dot{I}_{\mu A} + \dot{I}_{\mu B} + \dot{I}_{\mu C}) \right] \\ &= -\frac{1}{n_1} (\dot{I}_{\mu A} + \dot{I}_{\mu B} + \dot{I}_{\mu C}) \\ &= \dot{I}_{unb} \end{aligned} \quad (2)$$

此 $\dot{I}_{unb}$ 是零序电流过滤器的不平衡电流，它是由三个互感器励磁电流不相等而产生的。对于采用电缆引出的输电线路，还广泛采用零序电流互感器的接线方式以获得 $3\dot{I}_0$ ，电流互感器就套在三相电缆的外面，互感器的一次电流是 $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$ ，只当一次侧有零序电流时，在互感器的二次侧才有相应的 $3\dot{I}_0$ 输出，所以称之为零序电流互感器。零序电流互感器和零序电流过滤器相比，主要的优点就是没有不平衡电流，同时接线也更简单。如图 4 所示，采用零序电流互感器测量零序电流，并经过过电流继电器进行整定的原理图。

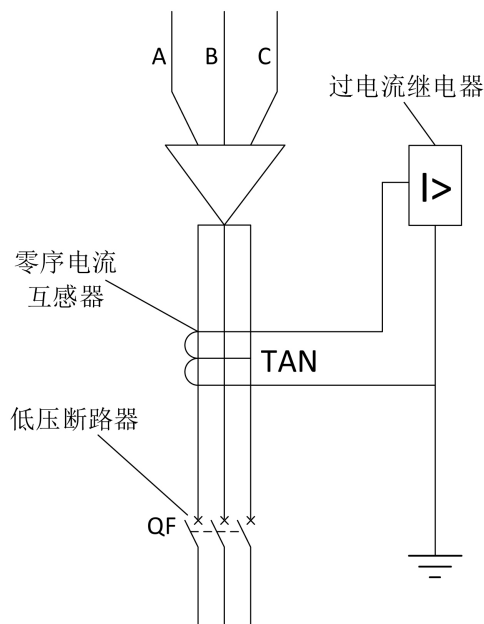


Figure 4. Zero sequence current measurement and setting schematic

图 4. 零序电流测取与整定原理图

### 3.3. 零序电流的整定

在测量到零序电流的基础上，要与整定值相比较，这也是零序电流继电器保护的基本思路。在零序电流保护中，为了实现继电器保护的可靠性、灵敏性、快速性和选择性。零序电流速断保护的整定值计算的原则有：

1) 保护装置整定电流值应该大于等于三相正常运行时流过的最大三相不平衡电流、谐波电流、正常泄露电流之和[22]，并在发生接地故障时可靠动作，引入可靠系数 $K_{rel} = 1.2$ 。

$$I_{op0} = 1.2I_{PEN} \quad (3)$$

式中： $I_{op0}$ ——站用变零序电流保护整定值； $I_{PEN}$ ——最大三相不平衡电流。

2) 当变压器低压侧或低压盘母线上发生单相接地故障时，短路灵敏度系数大于等于 1.5，即

$$I_d/I_{op0} \geq 1.5 \quad (4)$$

式中： $I_d$ ——变压器低压侧或低压盘单相接地故障电流。

3) 变压器零序保护整定电流应与带专用接地故障保护低压回路的接地故障保护相配合[23]。

$$I_{op0} \geq 1.1I_{0max} \quad (5)$$

式中： $I_{0max}$ ——接地故障保护整定最大值。

4) 不带专用接地故障保护回路，熔断器或断路器作为短路保护元器件，兼做接地保护元器件[21]。为与变压器零序保护开展级差配合，需要满足当低压负荷回路发生单相接地故障时，变压器零序保护时间比低压负荷回路动作时间长  $\Delta t$  [24]。

$$t_{op0} \geq t_{0max} + \Delta t \quad (6)$$

式中： $t_{op0}$ ——厂用变压器零序保护动作时间； $t_{0max}$ ——低压负荷回路熔断器或热继电器动作时间最大值； $\Delta t$ ——保护级差时间，一般取 0.1~0.5 s。

## 4. 零序保护与脱扣器结合设计

### 4.1. 脱扣器动作控制

脱扣器是断路器的主要部件之一，所以对它的要求很严格，而且种类也较多。一般可分为过电流脱扣器、欠电压脱扣器、热脱扣器等，主要的功能是合闸闭锁和故障时跳闸[25]。其内部结构图如图 5 所示。

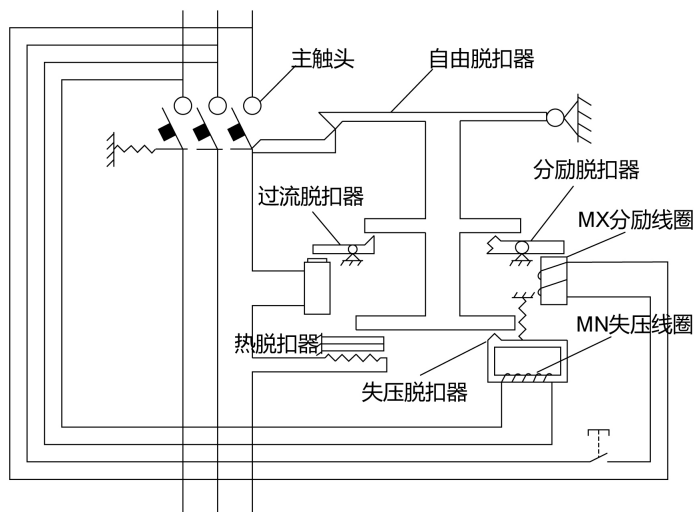


Figure 5. Internal structure of the trip unit

图 5. 脱扣器内部结构简图

控制脱扣器动作的方法一个是就地操作，另一个是远程操作。在远程操作方法中可以实现零序保护和脱扣器的结合，即当需要脱扣器进行分闸操作时，如图 3 所示，远程控制可在 MX 分励线圈上施加  $0.7 \sim 1.1U_n$  ( $U_n$  为分励线圈额定电压) 或 MN 失压线圈上施加  $0.35 \sim 0.7V_n$  ( $V_n$  为失压线圈额定电压)，可以实现对脱扣器的分段控制。

## 4.2. 零序保护与脱扣器结合装置原理图

根据上面的分析结果，设计了图 6 所示的装置原理图。

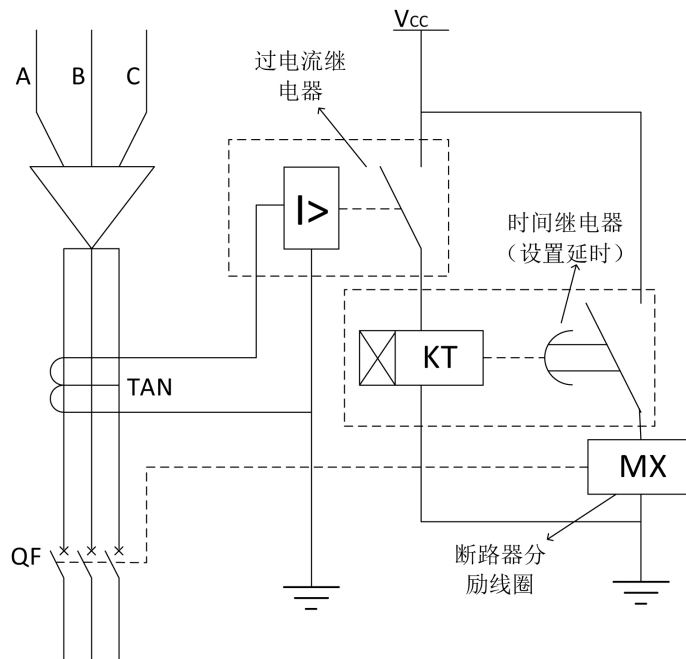


Figure 6. Schematic diagram of the zero sequence protection and trip unit combination

图 6. 零序保护与脱扣器结合装置原理图

图 4 中，使用零序电流互感器(TAN)获取零序电流，将零序电流回路串入到过电流继电器的线圈中，与整定值比较。当零序电流超过了整定值时，经过延时继电器(KT)的时间整定后，给断路器分励线圈(MX)供电的回路闭合，分励线圈得电，断路器的脱扣器脱扣，断开故障线路。该零序保护应该和变压器的零序保护设置时间的整定配合，来完成跳闸的优先级设定，避免零序保护的上下级间抢先跳闸。

## 5. 现场验证分析

本研究在试制了零序保护与脱扣器结合装置后，在湖北省某变电站的站用变进行了防越级跳闸测试。实验中采用某公司提供的通用过流及接地继电器(SPAJ142C)。实验中站用变的零序保护及断路器旁设的零序保护均使用变比为 250/1 零序电流互感器的。站用变的零序保护采用定时限设置，保护整定值为 4.8 A，延时 1 s，断路器旁设保护也采用定时限保护，设置整定值为 4 A，延时 0.5 s，实验结果记录如表 1 所示。

Table 1. Experimental current and action time

表 1. 实验电流与动作时间

采样电流 I/A	动作时间 t/s				保护类型
	1	2	3	平均值	
4	0.517	0.510	0.518	0.515	Fixed-time
5	0.512	0.507	0.508	0.509	Fixed-time
6	0.487	0.496	0.499	0.494	Fixed-time

现场试验结果与供应商提供的动作曲线吻合,保护均能可靠动作。当采样电流为4 A时,实际测得动作时间为0.515 s,零序保护可靠动作。实验结果表明该装置工作正常,在零序电流达到整定值,能够准确及时动作,而上一级的变压器零序保护均未动作,表明该零序保护与脱扣器结合装置能够有效解决支路故障引起的越级跳闸问题。

## 6. 结语

针对站用变配电线路越级跳闸现象,结合案例分析了引起越级跳闸的原因,得出可能引起越级跳闸的三个原因。针对上下级配合设置不合理引起越级跳闸,引入了零序保护并进行整定,设计了零序保护与脱扣器结合的继电保护装置。现场实验结果表明,该装置可有效解决越级跳闸问题,避免了停电范围扩大及其带来的繁重检修任务,提高供电可靠性。

本研究中设计的装置是模拟式的继电保护装置,后续可考虑改进通信功能,形成数字式继电保护装置,便于与主站进行通信来报告实时状态和接收执行主站指令,有益于在智能配电网中的推广应用。

## 基金项目

国网湖北省电力公司检修公司科技项目(SGHBXJ00EDJS1800560)。

## 参考文献

- [1] 洪梅子, 吴迪, 李鹏, 黎恒焜, 文博, 雷杨, 杜镇安. 2017年湖北电网10kV-110kV继电保护及安全自动装置设备运行情况分析[J]. 湖北电力, 2018, 42(1): 1-5.
- [2] 唐赓. 380V 低压回路“越级跳闸”问题的研究[J]. 自动化技术与应用, 2017, 36(8): 81-84.
- [3] 曹留柱, 曲德臣, 李民中, 王辉. 电力监控系统防越级跳闸方案的研究[J]. 工矿自动化, 2011, 37(8): 179-182.
- [4] 黄振喜, 徐光彬, 周秋鹏. 变电站建筑装配式建设方案探讨[J]. 湖北电力, 2017, 41(1): 47-50.
- [5] 宋鹏飞, 冯庆冬. 核电站低压厂用变压器零序保护的分析和改进[J]. 核科学与工程, 2016, 36(2): 245-250.
- [6] 齐波. 中性点经高阻接地方式下配电网零序电流测量的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2006.
- [7] 李婷. 系统运行方式对零序保护的影响分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2012.
- [8] 李文俊, 程志伟, 薛忠新, 孟海强. 基于光纤通信的防越级跳闸方案设计和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 131-135.
- [9] 李文江, 宋莉, 张文超, 范燕萍. 基于光纤数字通信的煤矿供电防越级跳闸保护设备应用研究[J]. 电子技术应用, 2011, 37(4): 26-28.
- [10] Degeneff, R.C., Gutierrez, M.R. and Mckenny, P.J. (1992) A Method for Constructing Reduced Order Transformer Models for System Studies from Detailed Lumped Parameter Models. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 7, 649-655. <https://doi.org/10.1109/61.127062>
- [11] Hao, W.U. (2008) Main Protection Configuration and Setting for Step-Down Substation Transformers of the Mechanical Plant. *Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition)*, 21, 95-96.
- [12] 叶锦娇. 煤矿井下电网防越级跳闸技术研究[J]. 煤矿机械, 2017, 38(1): 12-14.
- [13] 崔智明. 煤矿井下供电越级跳闸问题的解决方案[J]. 煤矿机电, 2011(5): 56-57.
- [14] 米春荣, 朱俊彦, 贾东立. DMP5000 供电数字化防越级跳闸保护系统的应用研究[J]. 机械管理开发, 2013(3): 6-7.
- [15] 李忠奎. 煤矿井下电网越级跳闸故障识别及防治技术研究[J]. 煤矿现代化, 2017(4): 100-102.
- [16] 郭志安. 东曲矿电力系统防越级试验及应用[J]. 电子制作, 2012(9): 25-26.
- [17] Nong, D.F. and Tao, L. (2009) Optimization of Protection Configuration for 10kV Station Transformers of Longtan Hydropower Station. *Power System Technology*, 33, 216-221.
- [18] 雷杨, 杜镇安, 张侃君, 洪梅子. 关于变电站远方操作技术的分析[J]. 湖北电力, 2016, 40(1): 15-18.
- [19] 潘广林. 关于低压厂用变压器出现越级跳闸分析及解决方法[J]. 数字技术与应用, 2011(3): 134-135.
- [20] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析下[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2016.



- 
- [21] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 第2版. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [22] 陈军生. 配电室进线越级跳闸问题的解决[J]. 电力设备管理, 2018(2): 41-42.
- [23] 江荣有. 降低变电站越级跳闸故障的攻关实践[J]. 铜业工程, 2015(6): 61-65.
- [24] 杨友. 低压断路器级间配合分析[J]. 中国新技术新产品, 2016(15): 64-66.
- [25] 孟宪章. 低压断路器[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-1565, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [tdet@hanspub.org](mailto:tdet@hanspub.org)